

## Trabajo Fin de Grado

Análisis de la influencia del factor innovación en el crecimiento económico de los países de la OCDE a partir del modelo de Solow ampliado

Analysis of the influence of the innovation factor on the economic growth of the OECD economies:  
An extended Solow model

Autor

María Murillo Olóriz

Director

Gregorio Giménez Esteban

FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA

2017

## Análisis de la influencia del factor innovación en el crecimiento económico de los países de la OCDE a partir del modelo de Solow ampliado.

Autor: María Murillo Olóriz

Director: Gregorio Giménez Esteban

### RESUMEN

Este trabajo se centra en estudiar el papel que juega la innovación en el crecimiento económico de las 34 economías que forman la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).

Para llevar a cabo el estudio utilizaré el modelo neoclásico de Solow ampliado con innovación tecnológica medida a través de dos indicadores: gasto en I+D y patentes per cápita. Este modelo lo estimaré a través de un panel de datos con información de los 34 países para el periodo comprendido entre 1995 y 2015 dividido en lustros, obteniendo así un panel de 34 datos de corte transversal por 4 de serie temporal.

Tanto el gasto en I+D como el hecho de patentar nuevos productos considero que son buenos indicadores para aproximarme a medir la innovación, puesto que economistas como Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992) entre otros, se apoyan en ellos para estudiar el impacto de la tecnología en el crecimiento.

El hecho de estudiar la tecnología de los países que forman la OCDE, aproximada por el gasto en I+D y el número de patentes per cápita y estimada a través de la metodología de datos panel, implica una novedad en la realización de trabajos de fin de grado en la universidad de Zaragoza. Así como la aplicación de la heterogeneidad no observada a los datos.

El objetivo que persigo en el trabajo es comprobar a través de la evidencia empírica, el rol que juega la tecnología en el crecimiento económico de la OCDE, teniendo en cuenta las distintas características y capacidades existentes entre los países que la forman.

## ABSTRACT

This paper focuses on the role of innovation in the economic growth of the 34 economies that integrate the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).

In order to carry out the study, I will use the extended Solow neoclassical model with technological innovation measured through two indicators: expenditure on R&D and patents per capita. This model will be estimated through a data panel with information from the 34 countries for the period between 1995 and 2015 divided into five-year periods, obtaining a panel of 34 cross-sectional data for 4 time series. Both R&D expenditure and the patenting of new products are considered to be good indicators to measure innovation, since economists such as Romer (1990), Grossman and Helpman (1991) and Aghion and Howitt (1992) rely on them to study the impact of technology on growth.

The fact of studying the technology of the countries that make up the OECD, approximated by R&D expenditure and the number of patents per capita and estimated through the panel data methodology, implies a novelty in the completion of end-use degree in the University of Zaragoza. As well as is the application of unobserved heterogeneity econometric techniques to the data.

The objective of the paper is to verify through the empirical evidence the role of technology in the economic growth of the OECD, taking into account the different characteristics and capacities existing between the different countries.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2. DEFINICIÓN DE CRECIMIENTO ECONÓMICO E INNOVACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
3.1. Modelo neoclásico de Solow .....	10
3.1.1. La función de producción agregada.....	10
3.1.2 Función comportamiento de $kt$ en el modelo de Solow.....	12
3.1.3. Estado estacionario .....	16
3.2 Modelo neoclásico de Solow ampliado .....	16
3.2.1 Función comportamiento de $kt$ en el modelo de Solow ampliado.....	17
<b>4. DATOS .....</b>	<b>19</b>
4.1. Conformación del panel de datos econométrico.....	19
4.2. Descripción de las variables .....	19
4.3 Análisis empírico modelo neoclásico de Solow .....	22
4.4 Análisis empírico modelo neoclásico de Solow ampliado .....	27
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>32</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO III .....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXO IV .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1:Significado de las variables del modelo .....	20
Tabla 4.2. Estadísticos principales de las variables del modelo de Solow ampliado .....	20
Tabla 4.3: Modelo 1 MCO combinados: Modelo neoclásico original de Solow .....	22
Tabla 4.2:Modelo 2 MCO combinados: Modelo original de Solow corregido de heterogeneidad espacial y temporal. Variable dependiente: crecimiento.....	25
Tabla 4.5: Modelo 3 MCO combinados: Modelo neoclásico de Solow ampliado. Variable dependiente: crecimiento.....	28
Tabla 4.6: Modelo 4 MCO combinados: Modelo neoclásico de Solow ampliado corregido de heterogeneidad espacial y temporal. Variable dependiente: crecimiento.....	30
Tabla 4.7: Anexo IV. Modelo 5 MCO combinados: Modelo neoclásico de Solow ampliado corregido de heterogeneidad espacial y temporal y outliers. Variable dependiente: crecimiento.....	41

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Relación del crecimiento económico con la renta per cápita .....	15
Gráfico anexo I Crecimiento del PIB países OCDE.....	36
Gráfico anexo I PIB per cápita países OCDE.....	37
Gráfico anexo II: Gráfico de caja de la variable patentes per cápita.....	38
Histograma anexo III Crecimiento renta per cápita países OCDE.....	39
Gráfico anexo IV: Gráfico de caja de la variable Crecimiento del PIB .....	40

## ÍNDICE DE REGRESIONES

Ecuación 1: Modelo 1 MCO. Modelo neoclásico original de Solow .....	22
Ecuación 2: Modelo 2 MCO. Modelo original de Solow corregido de heterogeneidad espacial y temporal. ....	24
Ecuación 3: Modelo 3 MCO. Modelo neoclásico de Solow ampliado. ....	28

Ecuación 4: Modelo 4 MCO. Modelo neoclásico de Solow ampliado corregido de heterogeneidad espacial y temporal.....	29
--	----

## 1. INTRODUCCIÓN

Los niveles de vida varían mucho de un país a otro. Los países ricos, tienen un mayor nivel de ingresos per cápita porque tienen mayores niveles de capital por trabajador, trabajadores más cualificados y mayores niveles de PTF, siendo este componente responsable de más de la mitad de variación en el ingreso per cápita. De aquí surge la necesidad de desarrollar la comprensión de las fuerzas que dan vida a la productividad total de los factores, cuyo principal factor es el cambio tecnológico.

Simon Kuznets, se refirió al período en que vivimos como la “época económica moderna”. Según él, una época económica la determinan y la configuran las aplicaciones y las ramificaciones de una “innovación de época”. Por ejemplo, desde su punto de vista, la innovación de época de la Edad Moderna en Europa fue el desarrollo de las técnicas de navegación, que hicieron posible el descubrimiento de América, logro que Adam Smith calificó en 1776 como “el acontecimiento más grande registrado en la historia de la humanidad”.

La época económica actual (moderna), según Kuznets, comenzó en la segunda mitad del siglo XVIII, y la innovación trascendental que la explica es “la aplicación de la ciencia a los problemas económicos”. Durante el siglo XVIII, e incluso en la primera mitad del siglo XIX, el conocimiento científico se aplicó no solo de forma limitada en los procesos económicamente productivos.

Lo que indica Kuznets es que, desde la primera mitad del siglo XIX, la principal fuente de crecimiento en los países desarrollados ha sido la tecnología de base científica. Un ejemplo de ello es Gran Bretaña, que consiguió la superioridad industrial a través de sus avances tecnológicos en dos industrias importantes como eran la del algodón y la de la fabricación de hierro sustentadas por la creciente utilización de la máquina de vapor.

La importancia de la tecnología fue incrementándose durante el siglo XX. Durante este tiempo la marca del éxito era la habilidad para manipular el medio ambiente y adaptarlo a las condiciones de la sociedad y el medio para conseguirlo lo constituía la tecnología. Así, la razón fundamental del rápido cambio social del siglo XX fue la notable aceleración del progreso científico y tecnológico.

A través de la historia se observa la importancia que tiene el estudio de la tecnología por su gran trascendencia para la velocidad de los cambios económicos. Así, teniendo como objetivo comprobar el papel que tiene la tecnología en el crecimiento económico, mi trabajo sigue la siguiente estructura: en primer lugar, hago referencia a la definición de crecimiento económico e innovación. En el siguiente apartado explico la metodología utilizada basándome en el modelo de Solow, a continuación, se realiza la explicación de los datos utilizados y el análisis empírico de los mismos. Por último, resumo las conclusiones obtenidas a través del análisis empírico y nombro las referencias bibliográficas utilizadas.

## **2. DEFINICIÓN DE CRECIMIENTO ECONÓMICO E INNOVACIÓN**

Dentro de los objetivos principales de política económica perseguidos por los países se encuentra el crecimiento económico. Esto se debe a que es considerado como una medida de desarrollo y por tanto de bienestar de la población de un país. Un mayor crecimiento económico, a priori, implica que se alcancen mayores niveles de empleo, lo que conlleva más consumo y mayor bienestar de los consumidores a través de la satisfacción de sus necesidades y deseos.

Está estrechamente relacionado con el PIB, que es el indicador por excelencia de desarrollo de un país y esto lo convierte en un factor clave para explicar el buen funcionamiento de las economías.

El crecimiento económico se define como el incremento en la utilidad o valor de los bienes y servicios finales que se producen en una economía en un periodo de tiempo concreto (normalmente es un año). Kuznets (1966), lo definió simplemente como “el incremento sostenido del producto per cápita o por trabajador” y se convirtió en el objeto principal de estudio por parte de los economistas. Así, Bell (1976) afirmó que el crecimiento económico se había convertido en la religión secular de las sociedades industriales para avanzar. Estas afirmaciones encierran la misma pregunta: ¿Por qué crecen las economías? en teoría, las economías crecen por tres motivos principales: la inversión que realizan las empresas, lo que ocasiona que los trabajadores tengan mejores



máquinas que producen más. El segundo motivo, la educación de la población, los empleados cada vez están más cualificados y por tanto se produce hoy mucho más que hace doscientos años. Por último, el progreso tecnológico o innovación, que se define como: la implementación de un producto nuevo o significativamente mejorado (bien, servicio o proceso), un nuevo método de marketing o un nuevo método de organización de las prácticas empresariales, del lugar de trabajo o de las relaciones externas. (Eurostat)

Así, Juan Mulet, director de la fundación Cotec (Centro de Investigación para la innovación tecnológica) define la innovación como “el resultado de un proceso complejo que lleva nuevas ideas al mercado en forma de productos o servicios y desde sus procesos de producción o provisión, que son nuevos o significativamente mejorados” (Mulet Meliá, 2014). Dentro del contexto empresarial, las ideas que se generan son de tres tipos: comerciales, organizativas y tecnológicas y son estas últimas a las que se les ha otorgado siempre una mayor importancia por ser las que pueden tener mayores y mejores consecuencias. Es por este motivo, que la OCDE trabaja en intentar entender la innovación tecnológica.

En relación con la OCDE mencionar el Manual de Oslo, publicación que esta organización elabora en colaboración con Eurostat y que es referente importante para el análisis y la recopilación de datos sobre información tecnológica e innovación. Así, en esta publicación, innovación viene definida como: “introducción de un nuevo, o significativamente mejorado producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores”

La OCDE recoge tres precisiones importantes para definir la innovación. Primero, la importancia del conocimiento y de su desarrollo a través de actividades de I+D. Segunda precisión, que los productos o procesos tienen que ser nuevos para la empresa en cuestión. Y tercera y última, es necesario para que exista innovación que se esté consiguiendo con ello tener éxito en el mercado, lo que viene a traducirse en beneficios, si no hay beneficios no hay innovación.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Modelo neoclásico de Solow

Centrándonos en los modelos de crecimiento exógeno, tomaré como referencia el modelo neoclásico de Solow.

El modelo de Solow Swan (1956) tiene su origen en la función neoclásica de producción. Se denomina modelo de Suelo, en honor al economista y premio nobel Robert Solow que lo creó en 1956. El hecho de que sea un modelo de crecimiento exógeno, hace referencia a que no es capaz de explicar el crecimiento como sería el caso de los modelos de crecimiento endógeno y simplemente relacionan este crecimiento con un determinado factor exógeno.

El modelo de crecimiento de Solow pretende mostrar cómo interactúan el crecimiento del stock de capital, el crecimiento de la población activa y los avances de la tecnología en una economía y cómo afectan a su producción total de bienes y servicios.

##### 3.1.1. La función de producción agregada

En primer lugar se define la identidad de la renta nacional como el Producto Interior Bruto (PIB) de un país en un año el cual se reparte a: consumo privado de las familias ( $C_t$ ), inversión ( $I_t$ ) de las empresas, gasto público del gobierno ( $G_t$ ) y por último a ( $NX_t$ ), es decir, a exportaciones netas

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + NX_t$$

El modelo de Solow supone una economía cerrada y sin gobierno, por lo que no hay exportaciones netas ( $NX=0$ ) ni movimientos de capitales y a su vez el gobierno no gasta nada ( $G_t=0$ ). Estos supuestos son poco realistas, como indica Sala—i—Martín, ya que en los países más ricos el gobierno es el responsable de aproximadamente el 50% del gasto total y las economías modernas exportan e importan gran parte de su producción. Sin embargo, este supuesto ayuda a centrarnos en el papel que desempeña la inversión en el crecimiento económico.

Así pasamos a tener como función de producción:  $Y_t = C_t + I_t$

Lo que indica que el producto nacional se distribuye entre consumidores e inversores.

Esto es lo que considera Solow por el lado de la demanda. Ahora, por el lado de la oferta se obtiene la función de producción neoclásica.

La oferta o producción de una economía, se obtiene de la combinación de dos factores: el factor trabajo  $L_t$  o cantidad de trabajadores de una economía y el factor capital  $K_t$ , relacionado con las máquinas utilizadas en el proceso de producción.

$$Y_t = F(K_t, L_t)$$

La función  $F$ , que indica cuánto se produce con unas cantidades dadas de capital y trabajo, es la función de producción agregada.

Sustituyendo podemos escribir:

$$F(K_t, L_t) = C_t + I_t$$

Cabe decir que la función de producción neoclásica presenta rendimientos constantes a escala. Esto quiere decir que, al multiplicar  $K$  y  $L$  por una constante, la producción también se multiplica por la constante.

$$zY = F(zK_t, zL_t)$$

Esta propiedad permite analizar las magnitudes relevantes de una economía en relación con el tamaño de la población activa.

$$Y/L = F(K_t/L, 1)$$

Así, el supuesto de rendimientos constantes de escala implica que el tamaño de la economía (medido por el número de trabajadores) no afecta a la relación entre la producción por trabajador y el capital por trabajador.

Además, otra propiedad que cumple es que la productividad marginal de todos los factores de producción es positiva, pero decreciente. Es decir, que la tecnología presenta rendimientos decrecientes del capital y del trabajo cuando estos se consideran por separado, lo que viene a decir que el modelo presenta rendimientos decrecientes de los factores. Esto significa que, conforme vamos añadiendo trabajadores adicionales, sin cambiar el stock de capital, la producción se incrementa, pero lo hace tanto menos cuantos más trabajadores tenga. En el caso de la función de producción del modelo de Solow se interpreta de manera que, al añadir capital físico de forma constante por trabajador, la

producción por trabajador es cada vez menor. Cuando el valor de  $k$  es bajo, el trabajador medio sólo tiene un poco de capital para trabajar, por lo que una unidad adicional de capital resulta muy útil y genera una gran cantidad de producción adicional. Cuando el valor de  $k$  es alto, el trabajador medio tiene una gran cantidad de capital, y, por tanto, la unidad adicional solo eleva ligeramente la producción.

El concepto de rendimientos decrecientes es clave en este modelo. Esto se reflejaría en el modelo estimado a continuación en que cuanto más desarrollado sea el país en cuestión, es decir, más rico sea y más capital físico tenga, menor crecimiento experimentará, puesto que las economías tienden a converger.

Una función de producción bastante sencilla que satisface las propiedades neoclásicas es la función Cobb-Douglas, donde  $0 < \alpha < 1$

$$Y_t = K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

El parámetro más destacado en esta función es  $\alpha$ , la constante que determina los rendimientos decrecientes del capital y del trabajo.

A partir de lo anterior y aplicando una serie de restricciones la función de producción viene a tomar la siguiente forma, que es la función anterior expresada en términos por trabajador.

$$y_t = k_t^\alpha$$

Esta función indica el aumento del stock de capital por persona como función de la constante  $\alpha$  y del capital físico existente,  $K$ .  $y_t$  se trata de la renta por trabajador y  $k_t$  es el stock de capital por trabajador. Los subíndices indican que se trata de un modelo dinámico que describe el comportamiento de la economía a lo largo del tiempo.

### 3.1.2 Función comportamiento de $k_t$ en el modelo de Solow

Así, el comportamiento de  $k_t$  viene definido por una función que explica la dinámica que sigue la economía.

$$\dot{k} = sy - (n + \delta)k$$

$$\dot{k}_t = sf(k_t) - \delta k_t - nk_t$$

$$\dot{k}_t = sk_t^\alpha - (\delta + n)k_t$$

Dado el stock de capital per cápita en la economía en el momento  $t$ , la ecuación indica cual será el incremento del stock de capital per capital en el siguiente instante,  $\dot{k}_t$ .

El stock de capital per cápita se incrementa con la diferencia entre el ahorro bruto por unidad de trabajo de la economía y el término  $(\delta + n)k$ . El primer término se refiere al ahorro, que en esta economía es igual a la inversión. El segundo se compone de la depreciación de capital existente,  $\delta k$  (que indica que cuanto mayor es la fracción de máquinas que se deprecia menor es el aumento del stock de capital) y por la cantidad de inversión necesaria para proporcionar capital a los nuevos trabajadores ( $nk$ ), lo que quiere decir que el capital se deprecia por el aumento de la población. Esto es lógico ya que estamos midiendo el capital per cápita y, por ende, al aumentar la población, el capital físico que le pertenece a cada persona es menor. Es decir, el término  $(\delta + n)k$  indica la inversión necesaria para mantener constante el stock de capital por trabajador y recibe el nombre de inversión de mantenimiento.

En definitiva, se obtiene la conclusión de que el capital per cápita depende positivamente del ahorro que se produzca en ese momento en la economía, es decir, de la propensión marginal al ahorro y negativamente de la tasa de crecimiento de la población y de la depreciación del capital físico.

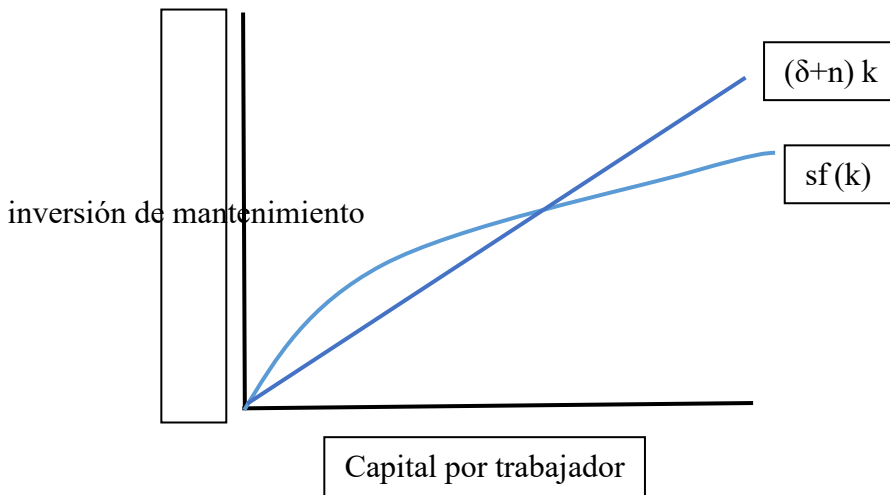
Por lo tanto, ocurre que:

Si  $sk_t^\alpha > (\delta + n)k \rightarrow \dot{k}_t > 0$ , el capital y la renta per cápita crecen

Si  $sk_t^\alpha < (\delta + n)k \rightarrow \dot{k}_t < 0$ , el capital y la renta per cápita decrecen

Si  $sk_t^\alpha = (\delta + n)k \rightarrow \dot{k}_t = 0$ , el capital y la renta per cápita permanecen constantes

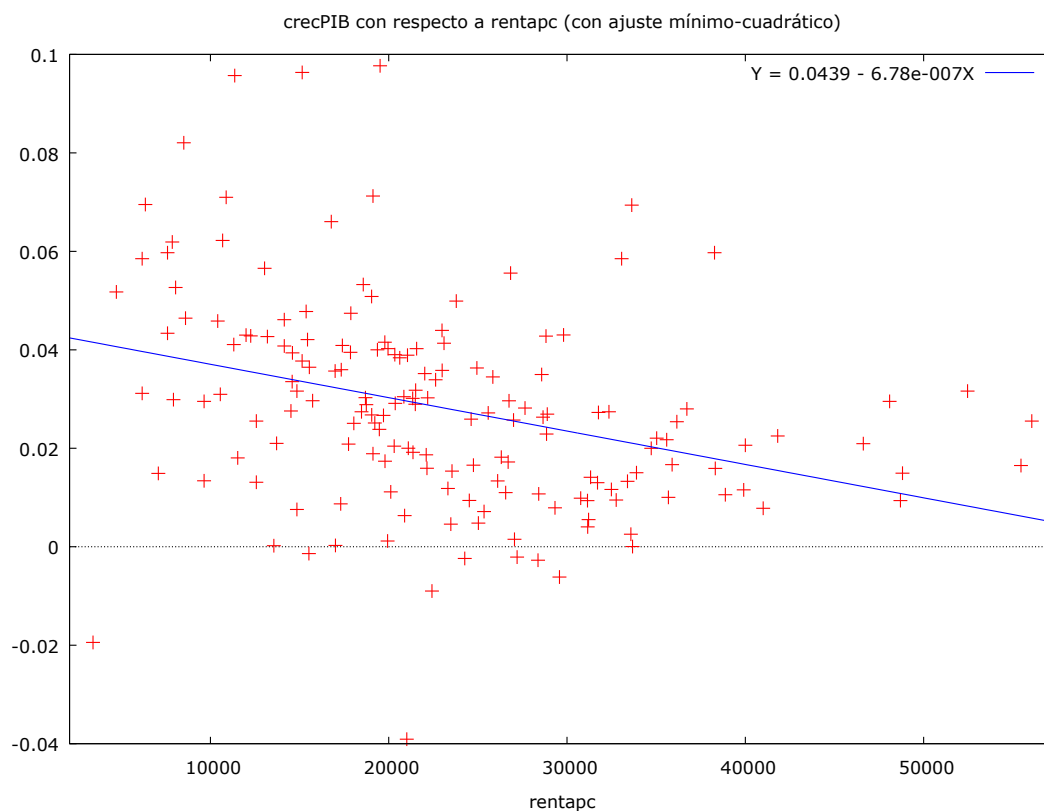
Esto ayuda a entender el hecho de que algunos países crecieran como por ejemplo Alemania y Japón, que crecieron rápidamente tras quedar muy afectados por la Segunda Guerra Mundial.



Fuente: elaboración propia.

El modelo de Solow trata de explicar el crecimiento de la renta por tanto a través de sus dos ecuaciones principales: la de la evolución de la renta per cápita y la del comportamiento del capital. Este modelo utiliza los rendimientos decrecientes del capital como base en su explicación, de forma que Solow afirma que los países acaban convergiendo entre sí. Es decir, los países en su fase inicial crecen mucho y conforme van progresando y convirtiéndose en países desarrollados y más ricos estos crecen menos.

*Gráfico 3.1: Relación del crecimiento económico con la renta per cápita*



Fuente: elaboración propia a partir de los datos. (Ver anexo I)

La nube de puntos permite estimar una línea de regresión que establece una relación decreciente entre la renta per cápita y el crecimiento del PIB. Es decir, a más renta, menos crecimiento. Esto indica que cuanto más desarrollado, cuanto más rico es un país menos crecimiento experimenta.

Esta convergencia de los niveles de producción per cápita se extiende al conjunto de los países de la OCDE, puesto que desde 1950 los datos de producción per cápita en relación con la tasa de crecimiento muestran una tendencia negativa. No obstante, esto puede tener una explicación lógica: la muestra tomada. Los países de la OCDE se caracterizan por ser economías desarrolladas y por lo tanto forman parte de un club en el cual el éxito económico es un requisito de entrada. Y para alcanzar este éxito, estos países han tenido que evolucionar tecnológicamente, bien siendo pioneros en nuevas tecnologías o bien aprovechándose del impulso de otros. Este es el caso de países latinoamericanos como

Chile, el apodado Silicon Valley de la región, puesto que EEUU tiene instaladas numerosas sedes de empresas tecnológicas en el país.

### *3.1.3. Estado estacionario*

En relación con la hipótesis de convergencia está el concepto de estado estacionario. El modelo posee un punto estacionario único y estable, el cual será alcanzado independientemente de las condiciones iniciales de cada país. Es decir, dado que el progreso técnico se difunde por todo el mundo, se prevé que habrá convergencia de las tasas de crecimiento per cápita. Las economías que inicialmente son más pobres crecerán a tasas superiores que aquellas regiones más ricas, es decir, que aquellas que tienen unos niveles más altos de capital por habitante.

Según este modelo, el nivel de producción a largo plazo viene determinado por la tasa de ahorro de una economía, esto explicaría por qué los países que ahorran e invierten parte de la producción son más ricos, mayor es su producción, que los que invierten menos. No obstante, el aumento de la tasa de ahorro produce un efecto nivel en la renta per cápita, pues el periodo de rápido crecimiento inicial se detiene al llegar al estado estacionario. Es decir, la tasa de ahorro no puede llevar a un crecimiento continuo en el tiempo.

Como lo que me interesa en este trabajo es explicar el crecimiento a partir de la tecnología, pasaré a continuación a ampliar el modelo explicado en este apartado añadiendo el componente tecnológico como hace Solow en su estudio.

## **3.2 Modelo neoclásico de Solow ampliado**

El modelo básico de Solow abogaba por el crecimiento a corto plazo, explicando que este se estancaba en el momento en el que las variables alcanzaban el estado estacionario. Es decir, que a largo plazo el crecimiento era nulo. Ahora, la idea es generalizar el modelo de Solow para ganar realismo.

Solow establece como tercera fuerza de crecimiento el progreso tecnológico, el cual, lo considera dado exógeno. Para incorporar esta tercera fuerza, reformulo la función de producción, que pasará a depender de K, L y A (el progreso tecnológico)



La oferta o producción de una economía, se obtiene de la combinación de tres factores: el factor trabajo  $L_t$  o cantidad de trabajadores de una economía, el factor capital  $K_t$ , relacionado con las máquinas utilizadas en el proceso de producción y por último el nivel de tecnología  $A_t$ .

$$Y_t = F(K_t, L_t \times A_t)$$

Esta nueva función de producción refleja la eficiencia en el trabajo a través del trabajo multiplicado por el estado de la tecnología, dando como resultado el trabajo efectivo. El hecho de que mejore la tecnología existente hace que aumente la eficiencia del trabajo, puesto que se puede conseguir mayor producción con el mismo número de trabajadores. Un ejemplo de esto, siguiendo al economista Gregory Mankiw, sería la transformación manufacturera que se produjo a principios del siglo XX gracias a la introducción de las cadenas de montaje.

El motivo por el que se introduce de esta forma la tecnología se debe a que los incrementos de eficiencia son equivalentes a los aumentos de población activa. Es decir, una mejora de los métodos de producción por el aumento de la tecnología, lleva a que un trabajador de 2015 sea el triple de productivo que uno en 1990.

### *3.2.1 Función comportamiento de $k_t$ en el modelo de Solow ampliado*

La función de comportamiento en el modelo de Solow ampliado presenta un componente más en la inversión de mantenimiento que pasa a ser:

$$\dot{k} = sy - (n + \delta + g)k$$

El modelo de Solow original partía de la idea de la convergencia, es decir, enunciaba que las economías del mundo acaban convergiendo debido a que las más pobres crecerían y las economías más ricas en dotaciones de capital entrarían en el estado estacionario gracias a los rendimientos decrecientes. La tecnología, lo que hace es que las economías no entren en estado estacionario, eliminen los rendimientos decrecientes y, por ende, alteren sus sendas de crecimiento. “El progreso técnico es lo único que puede explicar los niveles de vida continuamente crecientes” (Solow R, 1956). Es por tanto que la tecnología es un elemento potencialmente diferenciador de las economías.

En el modelo original de Solow, si un país trataba de mantener un crecimiento positivo continuado de producción, debería dedicar cada vez más parte de su producción a la acumulación de capital por los rendimientos decrecientes de este. No obstante, llegaría un momento que no se podría dedicar más de lo que se dedica y no habría crecimiento.

Por el contrario, al incorporar la tecnología, la producción crece a la tasa  $(n+g)$ , es decir, a la tasa de crecimiento de la población más la tasa de progreso tecnológico y el número de trabajadores lo hace a la tasa  $n$ , por lo que la producción por trabajador o producción per cápita lo hace a la tasa del progreso tecnológico ( $g$ ) que es la variable relevante, la que indica el nivel de vida real de una economía. Esto quiere decir que cuando la economía está en estado estacionario, la producción por trabajador crece a la tasa del progreso técnico.

Así pues, se confirma que, en definitiva, la tasa de crecimiento de la producción por trabajador depende de la tasa de progreso tecnológico. Pero, Solow no establece con claridad de qué depende esta llamada tecnología, sino que la toma como un factor exógeno. Por ello, existe cierta dificultad para medir la tecnología como tal e incorporarla al modelo de Solow.

## 4. DATOS

### 4.1. Conformación del panel de datos econométrico.

Los datos tomados se utilizaron para la realización de un análisis econométrico. Este análisis se llevó a cabo a través de un panel con información para los 34 países de la OCDE en el periodo comprendido entre 1995 y 2015 tomados en periodos de 5 años. Esto supone 5 periodos temporales para cada país.

Los 34 países considerados son los miembros actuales de la OCDE: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Letonia, Luxemburgo, México, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, República de Corea, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos.

Los datos temporales para estos países son a su vez los de 1995, y para los siguientes intervalos de tiempo (2000, 2005 y 2015) se realizó una media aritmética. Por ejemplo, para obtener el dato en el año 2000 se hizo una media entre los años 1996, 1997, 1998, 1999 y 2000.

Los datos fueron extraídos de distintas bases de datos, que se empalmaron en una base común para el análisis. En primer lugar, de la base de datos Penn World Table (PWT) de la Universidad de Groningen y en segundo lugar de la base de datos de la OCDE, OECD Data. Esto origina un panel de datos en el que confluyen una dimensión corte transversal o sección cruzada, ya que tiene en cuenta la observación de distintos países, con la dimensión temporal, puesto que recoge observaciones de estos países en distintos periodos de tiempo.

### 4.2. Descripción de las variables

El panel de datos estimado se basa en el modelo de Solow ampliado, partiendo así de un modelo base en el que se incluyen las variables crecimiento de la población, renta per cápita e inversión para explicar el crecimiento del PIB per cápita, la variable endógena. Además de estas variables, se incluyen dos más que recogen la parte de este crecimiento que viene explicado por el factor innovación. Estas variables son: el gasto en I+D que cada país destina en relación a su PIB y las patentes per cápita que se crean en cada país.

*Tabla 4.1: Significado de las variables del modelo*

<b>Variables</b>	<b>Significado</b>
Pais	Contiene los 34 países de la OCDE
year	Periodo de tiempo de la muestra considerado: 1995-2015
Población	Población en miles por países
Crecimiento población	Tasa de crecimiento de la población
PIB	Producto Interior Bruto por países
Renta per cápita (rentapc)	Renta per cápita, ingresos per cápita que obtiene la población.
Gasto I+D	Gasto en inversión , desarrollo e innovación (I+D) que destina cada país en porcentaje sobre el PIB.
Patentes per cápita (patentespc)	Patentes creadas por cada país por habitante
Inversión	Inversión como porcentaje del PIB
Crecimiento PIB(CrecPIB)	Tasa anual de crecimiento del PIB per cápita en tanto por uno.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos

*Tabla 4.2. Estadísticos principales de las variables del modelo de Solow ampliado*

<b>Variables</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Renta per cápita</b>	23.005	21.362	10.390	3.417	56.065
<b>Crecimiento PIB</b>	0,02927	0,02742	0,02190	-0,03908	0,1063
<b>Inversión</b>	4,117	4,210	1,213	2,090	9,950
<b>Crecimiento población</b>	0,02347	0,01713	0,03077	-0,06217	0,1151
<b>Gasto I+D</b>	1,735	1,652	0,9348	0,2770	4,199
<b>Patentes per cápita</b>	0,09360	0,07351	0,09181	0,0001109	0,3420

Fuente: elaboración propia a partir de los datos.

La tabla muestra los estadísticos principales de las variables utilizadas.

Empezando por la renta per cápita, los datos dicen que la media de la renta per cápita en las economías de la OCDE se sitúa en: 23.005\$ en PPA. España se sitúa justo por encima de la media en 2015 con alrededor de 26.000\$, no obstante, anteriormente se situaba por debajo con medias de 17.000-20.000\$ especialmente durante la etapa de la crisis económica. A su vez, la desviación típica, muestra lo alejados que se encuentran las diferentes economías respecto de la media, siendo preferible, a efectos de convergencia, que esta desviación sea pequeña, en este caso se sitúa en 10.390 \$. Las economías con rentas per cápita más altas son Luxemburgo y Noruega.

La variable principal de estudio, el crecimiento económico presenta una media en las economías de la OCDE de 0,029, lo que indica que, en media, los países de la OCDE presentan un crecimiento del 3%. La desviación típica se sitúa en el 2%. Dos valores significativos son el mínimo y el máximo: -4% de Grecia en el periodo (2010-2015) Y 10% de Irlanda, crecimiento que experimenta a partir de 1996, respectivamente. Son valores bastante alejados y que indican que las economías de la OCDE presentan características económicas heterogéneas. Estas cifras muestran cómo, una misma crisis económica, tiene distinto impacto en unos países y otros y más que la crisis en sí misma, la forma de salir de esta. Irlanda aplicó rápidamente subidas de los tipos de interés y reducción del número de funcionarios públicos. En Grecia, se aplicaron medidas similares, no obstante, el resultado obtenido no fue el mismo, algunas de las causas fueron: las características estructurales de la economía griega, la mayor desconfianza de los inversores internacionales y la evasión fiscal presente en el país.

Los países que menos crecen llegando a presentar tasas negativas son en primer lugar, Grecia con una tasa de decrecimiento en 2015 del 4% seguido por Portugal e Italia, los dos con tasas de decrecimiento del 1%. En el lado opuesto, con tasas de crecimiento superiores al 8% se encuentran: Chile, con una tasa del 11% seguido por Corea e Irlanda con tasas del 10 y del 9% respectivamente.

Respecto al porcentaje que los países dedican a la inversión de capital físico la media se sitúa en el 4%. No obstante, el valor máximo es de prácticamente el 10% del PIB.

El gasto en I+D que las economías de la OCDE dedican en media en porcentaje del PIB es de 1,7%, situándose el mínimo y el máximo en 0,3% y 4% respectivamente. Los países

responsables de estos valores son: del mínimo Turquía y del máximo Israel, seguido por Corea, Japón y Finlandia.

Por último, respecto a las patentes, expresadas en patentes que se crean por 100.000 habitantes, las cifras más pequeñas se registran en Turquía en 1995 con 11 patentes, llegando a alcanzar 824 de media en el periodo 2011-2015; Méjico, con 31 en 1995 y un máximo de 194 en 2015 y Portugal con 81 patentes en el inicio del periodo muestral y 1393 al final. En el lado opuesto se encuentra Eslovenia, con 34.146 patentes por 100.000 habitantes creadas de media en el periodo 2011-2015, seguida por Japón con 33.000, Suecia, Suiza o Finlandia con valores entre 31.000 y 28.000, no obstante, todos ellos partían de niveles altos, por encima de las 15.000 patentes. Por su parte, España no resalta entre la muestra de países, ya que partía de 701 patentes en 1995 y en el último periodo registra 3819. La desviación típica es bastante elevada para el rango de valores tan corto que presenta la variable, esto indica que las economías se sitúan en gran medida en los valores extremos. (Ver anexo II)

A continuación, realizaré un análisis partiendo en primer lugar del modelo original de Solow, para después continuar con el modelo ampliado y así poder observar las diferencias existentes entre ellos.

### 4.3 Análisis empírico modelo neoclásico de Solow

*Ecuación 1: Modelo 1 MCO. Modelo neoclásico original de Solow*

$$cresPIB_{it} = \beta_1 + \beta_2 * rentapc_{it} + \beta_3 * crecpop_{it} + \beta_4 * invsobrePIB_{it} + U_{it}$$

*Tabla 4.3: Modelo 1 MCO combinados: Modelo neoclásico original de Solow*

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Desviación típica</i>	<i>Valor p</i>
<i>Constante</i>	0.0628528	0.0123234	1.37e-05 ***
<i>Renta per cápita</i>	-8.36807e-07	2.08906e-07	0.0003 ***

<i>Crecimiento de la población</i>	0.0968487	0.0608172	0.1208
<i>Inversión</i>	-0.00423570	0.00201783	0.0435 **
$R^2$	0.213982		
$R^2_{\text{corregido}}$	0.199336		

Fuente: elaboración propia a partir de los datos

Al estimar la regresión por MCO (Mínimos cuadrados ordinarios) se obtiene un modelo en el que aparecen dos variables significativas además de la constante. Estas variables son la renta per cápita y la inversión. De la primera variable significativa se puede decir que conforme aumenta la renta per cápita disminuye el crecimiento. Esto puede ser debido a los rendimientos decrecientes que se producen, puesto que el crecimiento de la renta per cápita o por trabajador depende, como he explicado antes, de los incrementos de capital por trabajador, pero esta acumulación de capital no puede mantener por si sola el crecimiento. Esto es consecuencia de los rendimientos decrecientes del capital, ya que para mantener un aumento constante de la producción por trabajador es necesario elevar cada vez más el capital por trabajador. Llega un momento en el que la economía no puede ahorrar e invertir lo suficiente para seguir incrementando el capital.

Los países en su etapa inicial de desarrollo crecen mucho hasta alcanzar un punto en el que por muchos recursos que se inviertan, no experimentan un mayor crecimiento. Para crecer necesitan, por tanto, un impulso tecnológico que es lo que realmente hace que estos experimenten un cambio real y significativo en sus tasas de crecimiento. De ahí, la importancia del componente de la inversión en tecnología.

El segundo resultado significativo, es la inversión, que arroja un resultado también de signo negativo. No obstante, este resultado es menos significativo que el anterior.

Con significatividad me estoy refiriendo a la regla de significatividad del p valor. La renta per cápita resulta ser significativa al 10% ( $p \text{ valor} < 0.01$ ) y la inversión al 5% ( $p \text{ valor} < 0.05$ )

Me parece importante destacar el valor del  $R^2$  o coeficiente de determinación que es de 0,21, es decir, que el modelo tiene un poder explicativo del 21%. Dada la dificultad que suele presentar explicar el crecimiento puede ser considerado razonable.

El  $R^2$  es un criterio de valoración de la capacidad explicativa de los modelos de regresión y representa el porcentaje de la varianza justificado por la variable independiente.

Existen, no obstante, características propias de ciertos años y países que no se recogen en el coeficiente de determinación y que pueden ser muy relevantes. Esto es debido a que, aunque los países pertenecen todos a la OCDE y presentan ciertas características que los hacen similares, existen singularidades que los hacen distintos no solo entre ellos, sino entre los distintos años. Por ejemplo, la crisis económica española hizo que se modificara de forma sustancial la trayectoria de crecimiento que solía presentar España.

Para intentar corregir la heterogeneidad de las variables se crean variables ficticias de espacio y de tiempo. Esto implica generar variables ficticias para cada país de la OCDE, es decir, para cada unidad espacial y para cada periodo de tiempo, de 1995 a 2015.

Esto se realiza para analizar la heterogeneidad no observada, es decir, para comprobar si existen ciertos factores no aleatorios específicos de un año concreto o de un país determinado que afecten a los resultados finales pero que no se recojan para el resto de variables estudiadas. En definitiva, la heterogeneidad no observada se puede definir como la variación de diferencias entre los casos que no se miden.

Para analizar algunos resultados, he incorporado estas variables ficticias de unidad y de tiempo a mi modelo base, sin incluir la última variable ficticia de tiempo, es decir la correspondiente al último lustro de tiempo (2011,2012,2013,2014,2015) y de unidad, es decir la correspondiente a Australia, para evitar que se produzca el problema de multicolinealidad perfecta.

*Ecuación 2: Modelo 2 MCO. Modelo original de Solow corregido de heterogeneidad espacial y temporal.*

$$\begin{aligned} \text{crecPIB}_{it} = & \beta_1 + \beta_2 \text{rentapc} + \beta_3 \text{crecpob} + \beta_4 \text{invsobrePIB} + \gamma_1 1995_{it} \\ & + \gamma_2 2000_{it} + \gamma_3 2005_{it} + \gamma_4 2010_{it} + \delta_1 \text{Australia}_{it} + \delta_2 \text{Austria}_{it} \\ & + \delta_3 \text{Bélgica}_{it} + \delta_4 \text{Canadá}_{it} + \delta_5 \text{Chile}_{it} + \delta_6 \text{RepúblicaCheca}_{it} \\ & + \delta_7 \text{Dinamarca}_{it} + \delta_8 \text{Estonia}_{it} + \delta_9 \text{Finlandia}_{it} + \delta_{10} \text{Francia}_{it} \\ & + \delta_{11} \text{Alemania}_{it} + \delta_{12} \text{Grecia}_{it} + \delta_{13} \text{Hungría}_{it} + \delta_{14} \text{Islandia}_{it} \\ & + \delta_{15} \text{Irlanda}_{it} + \delta_{16} \text{Israel}_{it} + \delta_{17} \text{Italia}_{it} + \delta_{18} \text{Japón}_{it} \\ & + \delta_{19} \text{Letonia}_{it} + \delta_{20} \text{Luxemburgo}_{it} + \delta_{21} \text{México}_{it} \\ & + \delta_{22} \text{PaísesBajos}_{it} + \delta_{23} \text{NuevaZelanda}_{it} + \delta_{24} \text{Noruega}_{it} \\ & + \delta_{25} \text{Polonia}_{it} + \delta_{26} \text{Portugal}_{it} + \delta_{27} \text{República de Corea}_{it} \\ & + \delta_{28} \text{Eslovenia}_{it} + \delta_{29} \text{España}_{it} + \delta_{30} \text{Suecia}_{it} + \delta_{31} \text{Suiza}_{it} \\ & + \delta_{32} \text{Turquía}_{it} + \delta_{33} \text{Reino Unido}_{it} + U_{it} \end{aligned}$$



Tabla 4.4: Modelo 2 MCO combinados: Modelo original de Solow corregido de heterogeneidad espacial y temporal. Variable dependiente: crecimiento.

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Desviación típica</i>	<i>Valor p</i>
<i>Constante</i>	0.0481330	0.0202031	0.0231 **
<i>Renta per cápita</i>	3.61627e-07	4.88240e-07	0.4641
<i>Crecimiento de la población</i>	-0.0187194	0.172180	0.9141
<i>Inversión</i>	-0.0146381	0.00242105	8.42e-07 ***
<i>1995</i>	0.0217982	0.00844340	0.0145 **
<i>2000</i>	0.0226313	0.00686409	0.0023 ***
<i>2005</i>	0.0101786	0.00547375	0.0719 *
<i>2010</i>	-0.00665337	0.00403968	0.1090
<i>Australia</i>	0.0142307	0.00571600	0.0180 **
<i>Austria</i>	0.0168585	0.00722427	0.0259 **
<i>Bélgica</i>	0.0218267	0.00759664	0.0071 ***
<i>Canadá</i>	0.00935070	0.00457640	0.0491 **
<i>Chile</i>	0.0216996	0.0122024	0.0846 *
<i>República Checa</i>	0.0600203	0.0152242	0.0004 ***
<i>Dinamarca</i>	0.0102874	0.00640576	0.1178
<i>Estonia</i>	0.0457076	0.0153069	0.0053 ***
<i>Finlandia</i>	0.0295883	0.00878457	0.0019 ***
<i>Francia</i>	0.0150700	0.00745838	0.0515 *
<i>Alemania</i>	0.00221960	0.00814464	0.7869
<i>Grecia</i>	0.0239413	0.0118650	0.0518 *
<i>Hungría</i>	0.0221101	0.0141162	0.1268
<i>Islandia</i>	0.0229331	0.00587979	0.0004 ***
<i>Irlanda</i>	0.0510360	0.00646119	4.16e-09 ***
<i>Israel</i>	0.0280711	0.0114987	0.0202 **
<i>Italia</i>	0.0177038	0.00974091	0.0782 *
<i>Japón</i>	-0.00329131	0.00763538	0.6692
<i>Letonia</i>	0.0788758	0.0244969	0.0029 ***
<i>Luxemburgo</i>	0.0483835	0.00587500	1.65e-09 ***
<i>México</i>	0.0238472	0.0145514	0.1108
<i>Países Bajos</i>	0.0238319	0.0135121	0.0870 *
<i>Nueva Zelanda</i>	0.00803154	0.00765397	0.3017
<i>Noruega</i>	-0.00781023	0.00148485	8.57e-06 ***
<i>Polonia</i>	0.0168300	0.0112409	0.1438
<i>Portugal</i>	0.0377183	0.0132377	0.0075 ***

<i>República de Corea</i>	0.0427837	0.00873134	2.48e-05 ***
<i>Eslovenia</i>	0.0369319	0.0119642	0.0041 ***
<i>España</i>	0.0274324	0.00879878	0.0038 ***
<i>Suecia</i>	0.0214291	0.00595849	0.0010 ***
<i>Suiza</i>	-0.00394380	0.00179850	0.0355 **
<i>Turquía</i>	0.0389421	0.0136889	0.0076 ***
<i>Reino Unido</i>	0.0197189	0.00689031	0.0073 ***
$R^2$		0.682983	
$R^2_{\text{corregido}}$		0.580720	

Fuente: elaboración propia a partir de los datos

Se puede observar cómo al añadir estas variables ficticias, el poder explicativo del modelo mejora, es decir, el  $R^2$  pasa de valer 0.21 en el modelo sin incluir variables ficticias, a tomar un valor de 0.68 incluyéndolas. Lo que supone una diferencia bastante significativa, el modelo pasa a explicar con mucho más detalle.

También es conveniente señalar que la renta per cápita deja de ser significativa al incluir estas variables, por el contrario, la inversión se hace más significativa.

Al estimar este modelo, observamos una única relación negativa y significativa, la inversión con respecto al crecimiento del PIB. Esto en realidad, aunque no lo parezca a priori, es lógico, ya que estamos analizando cada una de las economías que forman parte de la OCDE y estas son economías desarrolladas que poseen mucho stock de capital físico. Por tanto, el hecho de incrementar la inversión en este, no implica que vaya a aumentar el crecimiento económico, por los rendimientos decrecientes a los que he hecho mención anteriormente.

Lo que particulariza a este modelo es que muestra cómo los periodos 1995, 2000 y 2005 poseen alguna particularidad que los hace distintos del resto de la muestra. A su vez, lo mismo ocurre con varios países (como Australia, Bélgica, Canadá, República Checa, Estonia, Finlandia, Irlanda, Noruega, o Polonia) en los cuales su significatividad y signo positivo o negativo a la hora de influir en el crecimiento económico viene determinado por hechos puntuales y característicos del propio país que se hayan producido en el periodo de tiempo estimado.

#### 4.4 Análisis empírico modelo neoclásico de Solow ampliado.

El modelo neoclásico original de Solow, prevé que mediante la acumulación de capital físico el crecimiento a largo plazo es inexistente. Existe evidencia de que, una vez alcanzado el estado estacionario, las tasas de crecimiento de la producción y del capital por trabajador son nulas y es aquí donde “entra en juego” el progreso tecnológico. En una economía en la que existe progreso tecnológico, la tasa de crecimiento de la producción por trabajador es positiva a largo plazo.

La expresión “progreso tecnológico” nos trae a la memoria el concepto de descubrimiento, el cual, en las economías modernas de hoy en día, viene impulsado habitualmente por las investigaciones científicas, producto de un proceso rutinario de actividades de investigación y desarrollo (I+D). Además, se entiende que a partir de estas investigaciones se llega a nuevos productos e ideas necesarias de patentar, por lo que una buena proxy a la innovación sería el número de patentes per cápita.

Basándome pues en las investigaciones de Blanchard y Helpman tomaré como variables para medir aproximadamente la tecnología en el modelo: el gasto en I+D y el número de patentes per cápita en cada país.

Los gastos en I+D de las empresas representan entre el 2 y el 3% del PIB en los países más ricos (EEUU, Francia, Japón o Reino Unido). El hecho de dedicar más gasto a I+D implica aumentar la probabilidad de descubrir y desarrollar nuevos productos (nuevos bienes o nuevas técnicas de producción) de tal manera que, si el producto resultara exitoso, los beneficios de la empresa se incrementen. Las empresas invierten en I+D por el simple motivo de obtener beneficios, al igual que podrían optar por comprar una máquina nueva. No obstante, existe una diferencia destacable entre adquirir una máquina y dedicar ese gasto a I+D. Esta diferencia radica en el resultado obtenido de una y de otra opción. El resultado que se obtiene del gasto en I+D son ideas, las cuales, a diferencia de una máquina pueden ser utilizadas por multitud de empresas al mismo tiempo. Una empresa que compra una máquina nueva no tiene que preocuparse por este problema, sin embargo, una empresa que descubre un producto innovador no puede actuar igual.

Este punto hace referencia a que el nivel de gasto en I+D no depende exclusivamente de la fecundidad del proceso de investigación, esto es, de cómo y dónde se traducen los procesos investigadores en nuevas ideas y productos puesto que también depende en gran

medida de la posibilidad que tienen estos de adueñarse de los resultados que han obtenido en su propia investigación, es decir, de poder patentar sus ideas.

Pasaré ahora a estimar el modelo neoclásico de Solow ampliado, es decir, el modelo original que he estimado anteriormente, pero incorporando el componente de la tecnología, de la innovación a través de las dos variables que he considerado oportunas.

La principal diferencia entre el modelo original y el ampliado es que este último incorpora el componente tecnológico, el llamado progreso técnico que tiene una gran importancia para las economías desarrolladas.

*Ecuación 3: Modelo 3 MCO. Modelo neoclásico de Solow ampliado.*

$$\text{CrecPIB}_{it} = \beta_1 + \beta_2 * \text{rentapc}_{it} + \beta_3 * \text{crecimientopob}_{it} + \beta_4 * \text{Inversion}_{it} + \beta_5 * \text{patentespc}_{it} + \beta_6 * \text{GastoImasD}_{it} + U_{it}$$

*Tabla 4.5: Modelo 3 MCO combinados: Modelo neoclásico de Solow ampliado.  
Variable dependiente: crecimiento.*

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Desviación típica</i>	<i>Valor p</i>
<i>Constante</i>	0.0655600	0.0104323	4.19e-07 ***
<i>Renta per cápita</i>	-7.71264e-07	2.59012e-07	0.0054 ***
<i>Crecimiento población</i>	0.0905089	0.0604590	0.1439
<i>Inversión</i>	-0.00481518	0.00176720	0.0102
<i>Patentes per cápita</i>	-0.0264092	0.0291550	0.3716
<i>Gasto en I+D</i>	0.000465214	0.00345618	0.8937
<i>R<sup>2</sup></i>		0.235913	
<i>R<sup>2</sup> corregido</i>		0.211105	

Fuente: elaboración propia a partir de los datos

Tras la estimación de la regresión inicial ampliada por la innovación, basándonos en el modelo de Solow, obtenemos unos cuantos resultados a destacar. En primer lugar, el R cuadrado corregido pasa de un valor de 0.19 a un valor de 0.21, por lo que aumenta levemente, es decir, la capacidad predictiva del modelo mejora.

Respecto a la significatividad de las variables, no varía. Existe una relación significativa y negativa entre la renta y el crecimiento económico y lo mismo ocurre con la inversión. Estos resultados como en la ocasión anterior eran esperables, ya que Solow ya afirmaba que los países más ricos no son los que más crecen y esto explicaría también el signo negativo de la inversión: no por más capital físico crecen más las economías.

Por último, se observa que ninguna de las dos variables incluidas como novedad respecto al modelo original son significativas. No se trata de un resultado inesperado en literatura de crecimiento, únicamente demuestra la gran dificultad que supone la explicación del crecimiento de los países, así como utilizar un estimador que se aproxime a lo que el concepto de innovación supone. La historia y los datos confirman que la innovación, el progreso tecnológico hacen crecer y evolucionar a las economías, no obstante, en esta estimación no estamos teniendo en cuenta las diferentes características que poseen las economías de la OCDE.

Al igual que en el modelo de Solow inicial, he incorporado variables ficticias de unidad y de tiempo al modelo ampliado para comprobar si existen ciertos factores específicos que afecten a un año o país en concreto. El modelo estimado sería el siguiente:

*Ecuación 4: Modelo 4 MCO. Modelo neoclásico de Solow ampliado corregido de heterogeneidad espacial y temporal.*

$$\begin{aligned} \text{crecPIB}_{it} = & \beta_1 + \beta_2 \text{rentapc} + \beta_3 \text{crecpob} + \beta_4 \text{invsobrePIB} + \beta_5 \text{patentespc} \\ & + \beta_6 \text{GImasD} + \gamma_1 1995_{it} + \gamma_2 2000_{it} + \gamma_3 2005_{it} + \gamma_4 2010_{it} \\ & + \delta_1 \text{Australia}_{it} + \delta_2 \text{Austria}_{it} + \delta_3 \text{Bélgica}_{it} + \delta_4 \text{Canadá}_{it} \\ & + \delta_5 \text{Chile}_{it} + \delta_6 \text{RepúblicaCheca}_{it} + \delta_7 \text{Dinamarca}_{it} \\ & + \delta_8 \text{Estonia}_{it} + \delta_9 \text{Finlandia}_{it} + \delta_{10} \text{Francia}_{it} + \delta_{11} \text{Alemania}_{it} \\ & + \delta_{12} \text{Grecia}_{it} + \delta_{13} \text{Hungría}_{it} + \delta_{14} \text{Islandia}_{it} + \delta_{15} \text{Irlanda}_{it} \\ & + \delta_{16} \text{Israel}_{it} + \delta_{17} \text{Italia}_{it} + \delta_{18} \text{Japón}_{it} + \delta_{19} \text{Letonia}_{it} \\ & + \delta_{20} \text{Luxemburgo}_{it} + \delta_{21} \text{México}_{it} + \delta_{22} \text{Países Bajos}_{it} \\ & + \delta_{23} \text{Nueva Zelanda}_{it} + \delta_{24} \text{Noruega}_{it} + \delta_{25} \text{Polonia}_{it} \\ & + \delta_{26} \text{Portugal}_{it} + \delta_{27} \text{República de Corea}_{it} + \delta_{28} \text{Eslovenia}_{it} \\ & + \delta_{29} \text{España}_{it} + \delta_{30} \text{Suecia} + \delta_{31} \text{Suiza}_{it} + \delta_{32} \text{Turquía}_{it} \\ & + \delta_{33} \text{Reino Unido}_{it} + U_{it} \end{aligned}$$

Tabla 4.6: Modelo 4 MCO combinados: Modelo neoclásico de Solow ampliado corregido de heterogeneidad espacial y temporal. Variable dependiente: crecimiento.

<i>Variables</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Desviación típica</i>	<i>P valor</i>
<i>Constante</i>	0.0628909	0.0227234	0.0092 ***
<i>Renta per cápita</i>	2.53807e-07	4.09930e-07	0.5401
<i>Crecimiento población</i>	-0.0114064	0.192283	0.9531
<i>Inversión</i>	-0.0153997	0.00242457	3.44e-07 ***
<i>Patentes per cápita</i>	0.0510633	0.0392594	0.2024
<i>Gasto en I+D</i>	-0.00574163	0.00593347	0.3402
<i>1995</i>	0.0219545	0.00788600	0.0088 ***
<i>2000</i>	0.0217911	0.00692041	0.0035 ***
<i>2005</i>	0.00873778	0.00520050	0.1024
<i>2010</i>	-0.00782027	0.00380251	0.0477 **
<i>Australia</i>	0.0127821	0.00863086	0.1481
<i>Austria</i>	0.0159217	0.00784855	0.0506 *
<i>Bélgica</i>	0.0210736	0.00880565	0.0225 **
<i>Canadá</i>	0.00739372	0.00671623	0.2789
<i>Chile</i>	0.0203816	0.0186115	0.2814
<i>República Checa</i>	0.0588115	0.0177188	0.0022 ***
<i>Dinamarca</i>	0.00690097	0.00713638	0.3406
<i>Estonia</i>	0.0424001	0.0172755	0.0196 **
<i>Finlandia</i>	0.0268171	0.00960531	0.0086 ***
<i>Francia</i>	0.0151007	0.00803542	0.0691 *
<i>Alemania</i>	-0.000447903	0.00898331	0.9605
<i>Grecia</i>	0.0187955	0.0169134	0.2745
<i>Hungría</i>	0.0171975	0.0167800	0.3129
<i>Islandia</i>	0.0229827	0.00652211	0.0013 ***
<i>Irlanda</i>	0.0462433	0.0106975	0.0001 ***
<i>Israel</i>	0.0286306	0.0105986	0.0108 **
<i>Italia</i>	0.0143617	0.0132297	0.2855
<i>Japón</i>	-0.00258306	0.00840585	0.7606
<i>Letonia</i>	0.0743453	0.0280006	0.0121 **
<i>Luxemburgo</i>	0.0443473	0.00979714	7.39e-05 ***
<i>México</i>	0.0147995	0.0200896	0.4665
<i>Países Bajos</i>	0.0159495	0.0139602	0.2615
<i>Nueva Zelanda</i>	0.000684309	0.0115304	0.9530
<i>Noruega</i>	-0.0129828	0.00516950	0.0171 **
<i>Polonia</i>	0.00939476	0.0144370	0.5197
<i>Portugal</i>	0.0346665	0.0169096	0.0484 **

<i>República de Corea</i>	0.0443223	0.00778542	2.38e-06 ***
<i>Eslovenia</i>	0.0238465	0.0154707	0.1328
<i>España</i>	0.0238063	0.0132671	0.0819 *
<i>Suecia</i>	0.0190385	0.00823070	0.0271 **
<i>Suiza</i>	-0.00360661	0.00459572	0.4382
<i>Turquía</i>	0.0324101	0.0181560	0.0834 *
<i>Reino Unido</i>	0.0167931	0.00901499	0.0714 *
$R^2$		0.692873	
$R^2_{\text{corregido}}$		0.582622	

Fuente: elaboración propia a partir de los datos

Se puede observar cómo, de nuevo, aumenta el poder explicativo del modelo al incluir las variables ficticias. Esto se observa a través del  $R^2$  ya que aumenta su valor pasando de 0.235 a 0.692, aunque en parte esto es normal al incluir mayor número de variables. No obstante, el  $R^2_{\text{corregido}}$  también experimenta un notable crecimiento pasando de 0.211 a 0.582.

## 5. CONCLUSIONES

A partir de los datos utilizados en el trabajo, se observa que las economías de la OCDE evolucionan a lo largo del tiempo y con el paso de los años alternando periodos de crecimiento con periodos de estancamiento y recesión económica. No obstante, existe en términos medios un crecimiento económico sostenido que se acelera a partir de la revolución industrial y que va ligado al desarrollo tecnológico.

El componente tecnológico, hace que los productos mejoren y se reduzca el coste de fabricación. Esto va acompañado de incrementos en la productividad total de los factores. Basándome en el modelo de Solow, en el estudio empírico he ampliado el modelo original con el factor exógeno de progreso técnico para ver si es cierto que afecta positivamente al crecimiento económico. Para poder medir el progreso tecnológico, utilizo las variables Gasto en I+D y Patentes per cápita, las cuales esperaba que tuvieran signo positivo y fueran significativas en el modelo, es decir, que explicaran positivamente el crecimiento. No obstante, ninguna de las dos variables ha resultado significativa.

También se ha obtenido que la renta per cápita contribuye positivamente a explicar el crecimiento económico y que la inversión, por el contrario, influye negativamente en este crecimiento. Así como que la población no resulta una variable importante para medir el crecimiento de estas economías ya desarrolladas y consolidadas.

El hecho de que las variables que aproximan la innovación no hayan salido significativas lleva a indagar en los datos y en las características de la muestra considerada. El hecho de que hayamos tomado todos los países de la OCDE en el periodo 1995-2015, condiciona los resultados empíricos; ya que, aunque aparentemente sean economías desarrolladas y homogéneas - existen enormes diferencias entre unas y otras. Justificar que las economías en su conjunto crecen debido a la tecnología medida únicamente a través de dos variables, es difícil de conseguir. No obstante, la elección de estas variables es habitual en la literatura: numerosos especialistas incluyen estas proxies en sus investigaciones. Autores como Helpman, Blanchard o Mankiw alertan de la gran dificultad que supone medir la tecnología.

Cabe mencionar también que muchos países en lugar de desarrollar sus propias ideas y productos las toman de otras economías y las explotan posteriormente, lo que indica que



el número de patentes justifica que un país sea innovador, pero mucha parte de este crecimiento económico se escapa de la medición a través de las patentes por este motivo. Se ha cumplido por tanto el objetivo que se tenía en el trabajo de comprobar a partir de una serie de datos si la innovación afecta positivamente en el crecimiento económico de los países de la OCDE. No obstante, que la tecnología sea un factor tan cambiante e incierto permite infinidad de análisis que hacen de ella un objeto de estudio apasionante.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth*. MA, MIT Press, Cambridge.

Cameron, Rondo (1991). *A concise Economic History of the World. From Paleolithic Times to the Present*.

Eurostat

Feenstra, Robert C., Robert Inklaar and Marcel P. Timmer (2015), "The Next Generation of the Penn World Table" *American Economic Review*, 105(10), 3150-3182, available for download at [www.ggdc.net/pwt](http://www.ggdc.net/pwt)

Galindo, M.A. (2011). *Tendencias y nuevos desarrollos de la teoría económica*. Boletín económico ICE.

Grossman, G. M. y Helpman, E. (1991) *Innovation and growth in the global economy*. MIT Press, Cambridge.

Helpman, E. (2004). *The mystery of economic growth*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge.

Krugman, P. (1990). *The age of Diminished Expectations*. MIT Press, Cambridge.

Kuznets, S. (1966). *Modern Economic Growth: Rate, Structure, and Spread*. New Haven and London: Yale University Press, Yale.

Kuznets, S. (1973). *Crecimiento económico*.

Mulet, J. *La innovación, concepto e importancia económica*. Sexto congreso de economía de Navarra.

Nonneman, W & Vanhoudt, P. (1996). *A further augmentation of the Solow model and the empirics of economic growth for OECD countries*. *The Quarterly Journal of Economics*, 111 (3), 943-953.

N.Gregory Mankiw. *Macroeconomics*

OECD (2017), Gross domestic spending on R&D (indicator). doi: 10.1787/d8b068b4-en (Accessed on 01 February 2017)

OECD (2017), Net national income (indicator). doi: 10.1787/af9be38a-en (Accessed on 14 March 2017)

OECD (2017), "Patents by main technology and by International Patent Classification (IPC)", *OECD Patent Statistics* (database).

<http://dx.doi.org/10.1787/data-00508-en>

(Accessed on 10 March 2017)

Paul A. Samuelson & William D. Nordhaus. *Macroeconomics*. McGraw-Hill.

Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de crecimiento económico*. Antoni Bosch Editor.

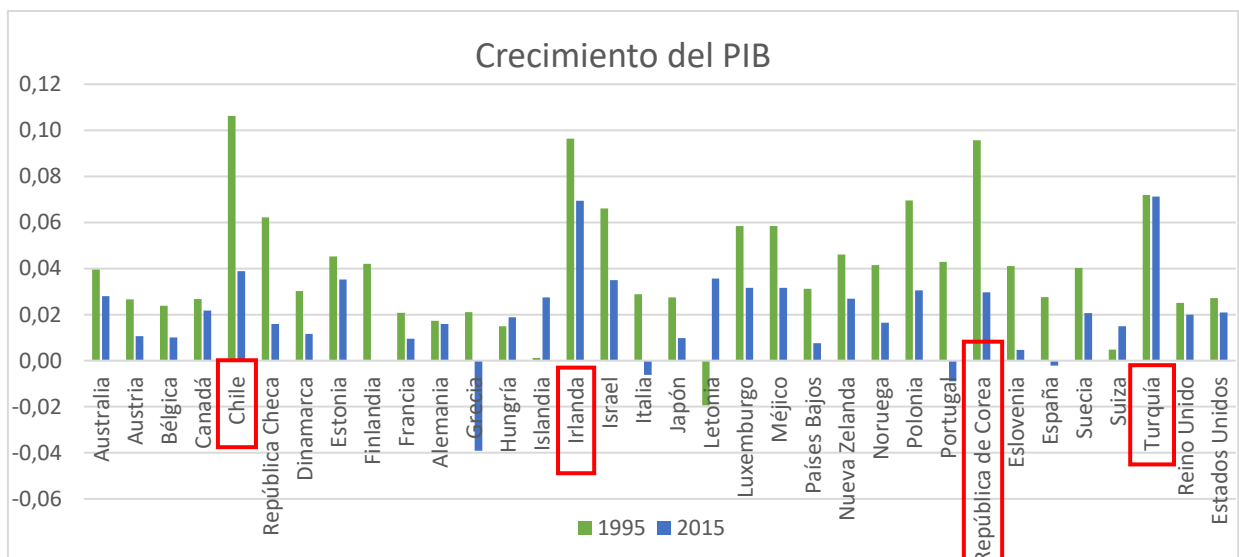
Solow, Robert M. (1956). *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. Quarterly Journal of Economics.

## ANEXO I

<i>Variable</i>	<i>Coficiente</i>	<i>Desviación típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>
<i>Constante</i>	0.0438502	0.00376124	11.66	3.15e-023 ***
<i>Rentapc</i>	-6.78194e-07	1.49083e-07	-4.549	1.05e-05 ***
<i>R<sup>2</sup></i>	0.112657			

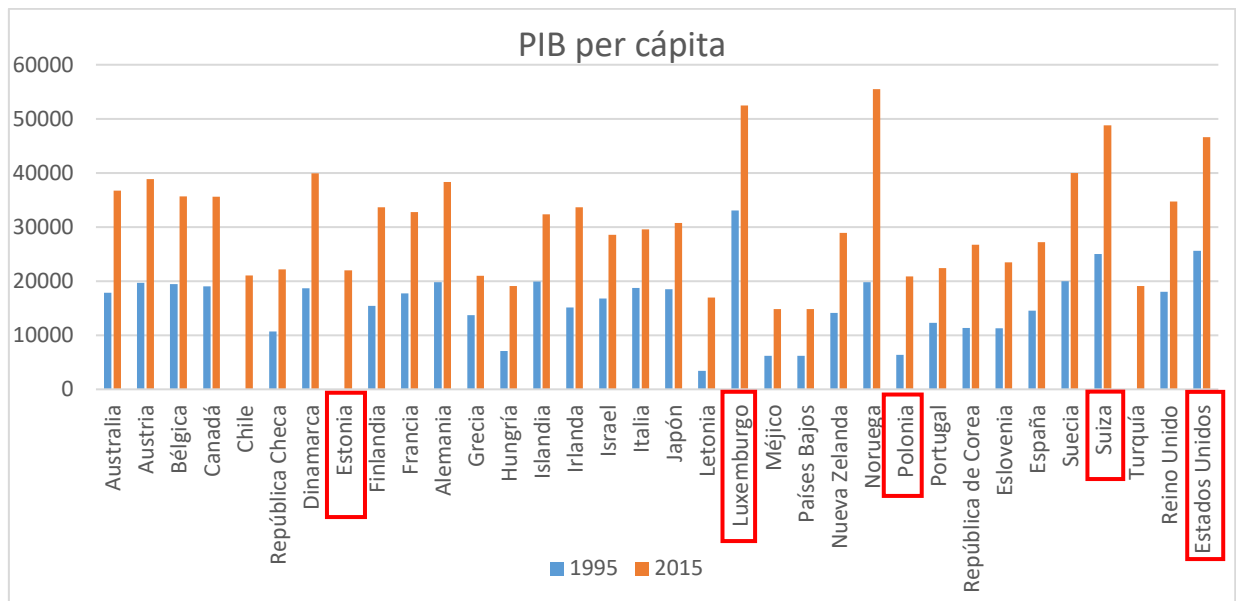
Regresión MCO que muestra la relación negativa y significativa existente entre la renta y la variable dependiente crecimiento económico como pronosticaba Solow.

*Gráfico anexo I Crecimiento del PIB países OCDE*



Fuente: elaboración propia a partir de los datos.

Gráfico anexo I PIB per cápita países OCDE

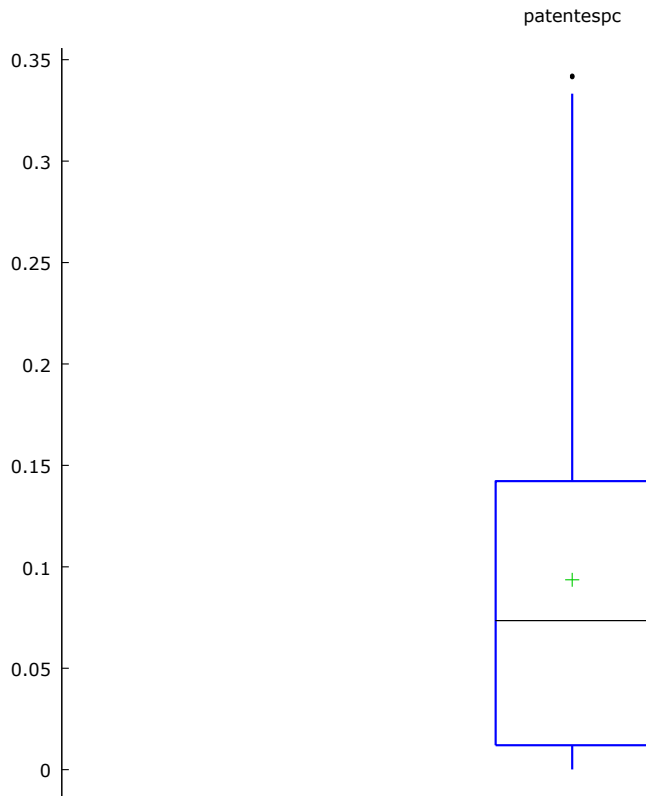


Fuente: elaboración propia a partir de los datos

A través de los gráficos se observa como los países que más crecimiento experimentan no son los que tienen mayores rentas per cápita, lo que pone de manifiesto esta relación negativa entre ambas variables.

## ANEXO II

*Gráfico anexo II: Gráfico de caja de la variable patentes per cápita*

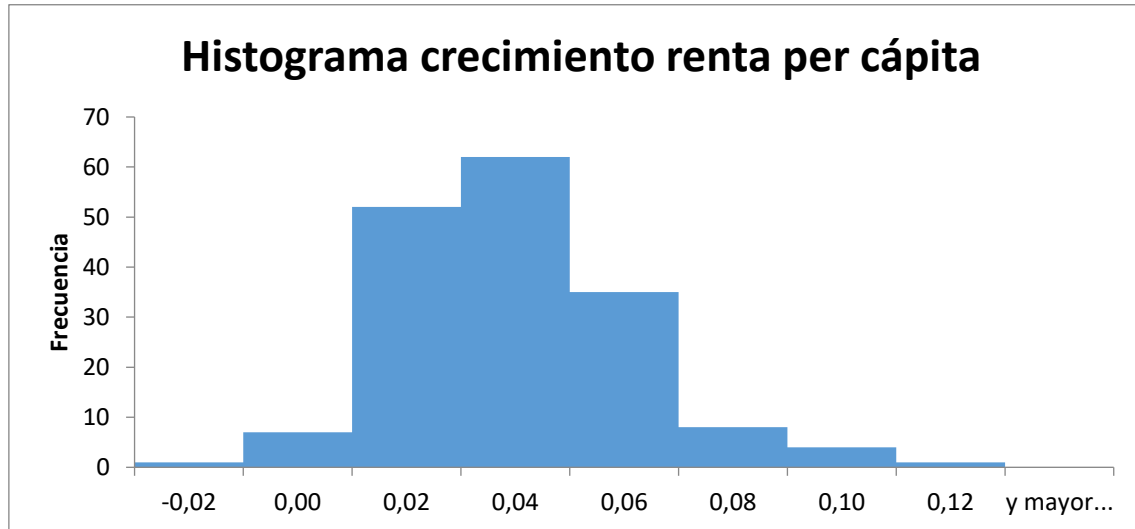


Fuente: elaboración propia a partir de los datos.

Este gráfico indica que el 25% de los países que menos patentes per cápita crean están mucho más concentrados que el 25% de los países que más patentes per cápita registran.

## ANEXO III

### *Histograma anexo III Crecimiento renta per cápita países OCDE*



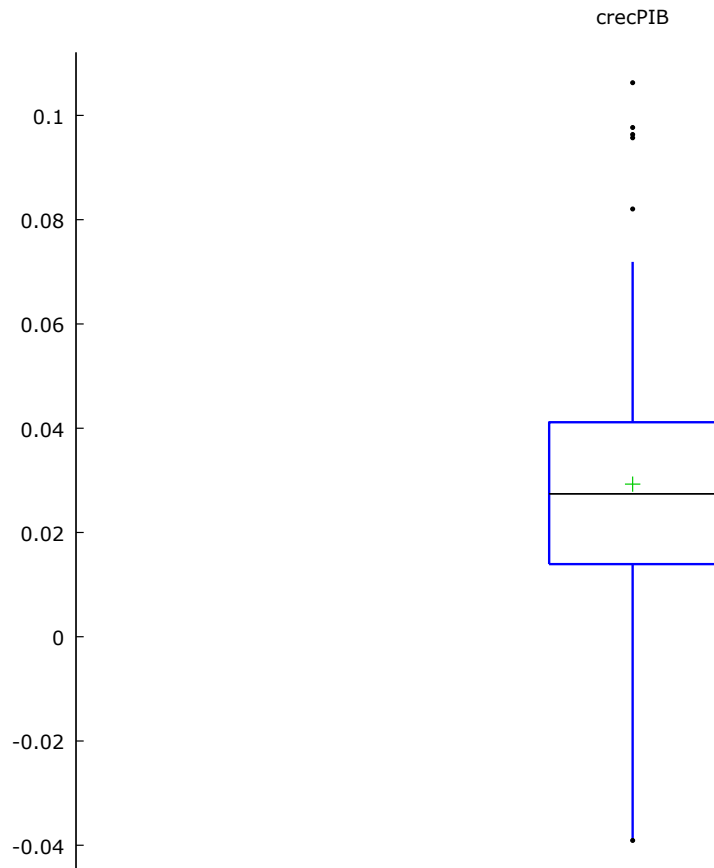
Fuente: elaboración propia a partir de los datos.

El primer histograma explica el crecimiento de la renta per cápita en las distintas economías de la OCDE.

El extremo izquierdo del gráfico representa a las economías cuyas tasas de crecimiento anual del PIB per cápita son negativas. La siguiente franja se refiere a las economías cuyas tasas de crecimiento son cero y así va aumentando progresivamente conforme se va pasando de franja. A partir del gráfico se puede decir que las economías que crecen entre el 2% y el 4%, que se encuentran en el centro del gráfico, son las más comunes de la muestra. La frecuencia de economías que no crecen y de las que más crecen 8-10% es similar.

## ANEXO IV

*Gráfico anexo IV: Gráfico de caja de la variable Crecimiento del PIB*



Fuente: elaboración propia a partir de los datos.

### • CORRECCIÓN MODELO AMPLIADO.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al eliminar los outliers o valores más extremos de las variables crecimiento del PIB y patentes per cápita. Los datos eliminados han sido:

- Patentes: Japón (2011-2015) con un valor de 0,33; Eslovenia (1996-2015) con valores de 0,30 y 0,34; Suecia 2006-2015 con valores de 0,31 y 0,32 y Suiza (2006-2015) con valores de 0,30 y 0,31.



- Crecimiento del PIB: Chile (1995) e Irlanda (1995-2005) con valores de crecimiento del 10 y del 11%

*Tabla 4.7: Anexo IV. Modelo 5 MCO combinados: Modelo neoclásico de Solow ampliado corregido de heterogeneidad espacial y temporal y outliers. Variable dependiente: crecimiento.*

<i>Variable</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Valor p</i>
<i>Constante</i>	0.0977617	8.17e-05 ***
<i>Crecimiento población</i>	0.0886151	0.4952
<i>Renta pc</i>	-2.64163e-07	0.4221
<i>Inversion</i>	-0.0129680	7.75e-06 ***
<i>Gasto I+D</i>	-0.0112658	0.0702 *
<i>Patentes per cápita</i>	0.0354079	0.5145
<i>R<sup>2</sup></i>	0.641141	0.6129
<i>Austria</i>	0.00524745	0.5686
<i>Bélgica</i>	0.00634197	0.2851
<i>Canadá</i>	-0.00693617	0.3479
<i>Chile</i>	-0.0127498	0.1231
<i>República Checa</i>	0.0313862	0.8886
<i>Dinamarca</i>	-0.00136408	0.3476
<i>Estonia</i>	0.0191004	0.0836*
<i>Finlandia</i>	0.0200900	0.8819
<i>Francia</i>	0.00147753	0.5651
<i>Alemania</i>	-0.00620305	0.9507
<i>Grecia</i>	-0.00107067	0.6887
<i>Hungría</i>	-0.00763551	0.1988
<i>Islandia</i>	0.00890101	0.0402**
<i>Irlanda</i>	0.0193679	0.6741
<i>Israel</i>	-0.00667949	0.3632
<i>Italia</i>	-0.00729856	0.2088
<i>Japón</i>	0.0413330	0.0004***
<i>Letonia</i>	0.0304807	0.1120
<i>Luxemburgo</i>	-0.0186609	0.7183
<i>México</i>	-0.00541173	0.0365**
<i>Países Bajos</i>	-0.0196002	0.0038***
<i>Nueva Zelanda</i>	-0.0194951	0.3948
<i>Noruega</i>	-0.0129763	0.6306
<i>Polonia</i>	0.00845706	0.0003***
<i>Portugal</i>	0.0322523	0.5699
<i>República de Corea</i>	0.0102321	0.9438
<i>Eslovenia</i>	-0.000920681	0.0263**
<i>España</i>	0.0221969	0.1038
<i>Suecia</i>	-0.0119638	0.9512

<i>Suiza</i>	0.000624099	0.9205
<i>Reino Unido</i>	0.00111364	0.8746
<i>1995</i>	0.00765511	0.4184
<i>2000</i>	0.00976630	0.1939
<i>2005</i>	0.00111603	0.8240
<i>2010</i>	-0.0129427	0.0074***
<i>R<sup>2</sup></i>	0.641141	

Fuente: elaboración propia a partir de los datos

Se obtiene que la variable Gasto en I+D aparece como significativa y el poder explicativo del modelo mejora notablemente ya que se pasa a explicar el 64% del crecimiento.

